

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-031866

(43)Date of publication of application : 02.02.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-188523

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 14.07.1997

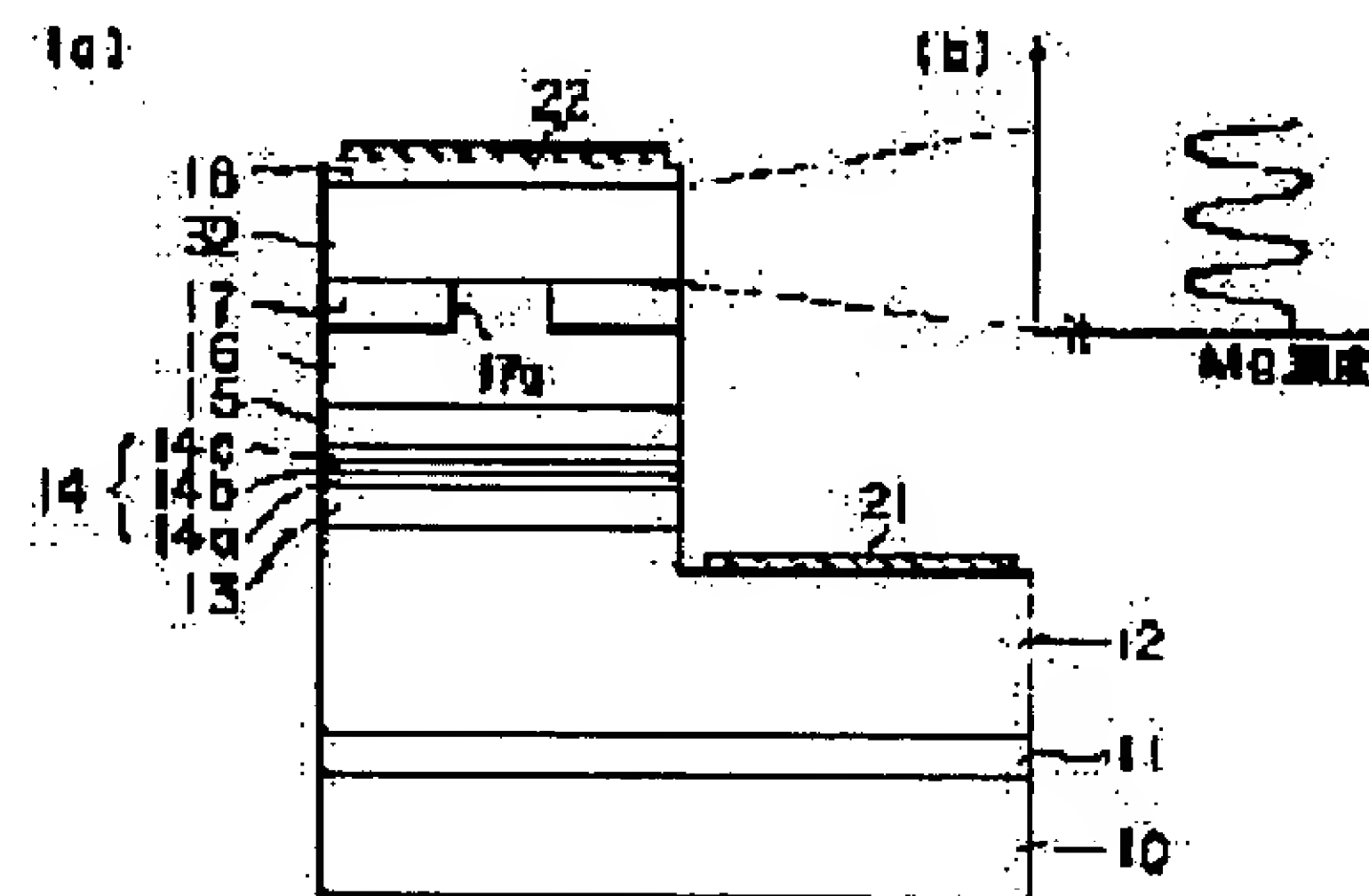
(72)Inventor : YAMAMOTO MASAHIRO  
NUNOGAMI SHINYA  
SASANUMA KATSUNOBU  
ISHIKAWA MASAYUKI

## (54) SEMICONDUCTOR DEVICE OF GALLIUM NITRIDE COMPOUND

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To increase effectual p-type carriers by connecting n-side and p-side electrodes to a laminated film comprising material expressed by a specified composition formula, forming a heat-generating structure within the laminated film such that low-resistance region and high-resistance region are adjacent to each other, and arranging the low-resistance region closer to the p-side electrode than the high-resistance region.

**SOLUTION:** Modulated doping is performed on a p-type layer, basically comprising a gallium nitride compound semiconductor of material expressed by a composition formula  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ). The layer subjected to the modulated doping is arranged as a p-modulated layer 32 between a p-side electrode 22 and pn-junction. In this case, the modulated layer 32 is set such that carriers injected from the p-side electrode 22 first pass through the low-resistance region containing impurities at a high concentration, then pass through the high-resistance region containing impurities at a low concentration. In this manner, as the carriers pass from the low-resistance region to the high-resistance region, heat-generation is made in the high-resistance region.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3488597

[Date of registration]

31.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] The cascade screen which has two or more layers which become fundamental from the ingredient which a laminating is carried out so that pn junction may be formed, and is expressed with the following empirical formula, n lateral electrode and p lateral electrode which were connected to said cascade screen so that a current might be supplied to  $x+y+z=1$ ,  $0 \leq x, y$ , and the  $z \leq 1$  aforementioned pn junction  $In_x Ga_y Al_z N$  and here, So that the high resistance part of high resistance may adjoin relatively [ part / of low resistance / low resistance ] relatively The exoergic structure formed in said cascade screen and said low resistance part are gallium nitride system compound semiconductor equipment characterized by providing being arranged in the side near [ part / said / high resistance ] said p lateral electrode.

[Claim 2] Said low resistance part and said high resistance part are gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 1 characterized by consisting of two fields where the carrier concentration formed in one layer differs by introducing an impurity with a different dose.

[Claim 3] Said impurity is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 2 characterized by being chosen from the group which consists of Mg, Zn, P, and O.

[Claim 4] Said impurity is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 2 characterized by being chosen from the group which consists of Si, Sn, Se, Te, germanium, and S.

[Claim 5] Said low resistance part and said high resistance part are gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 1 characterized by having different electrical conductivity and consisting of two layers by which the laminating was carried out.

[Claim 6] Said high resistance part is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 5 characterized by the content of Ga being lower than said low resistance part.

[Claim 7] Said high resistance part is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 5 characterized by the content of aluminum being higher than said low resistance part.

[Claim 8] Said high resistance part is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 5 characterized by the content of In being higher than said low resistance part.

[Claim 9] It is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 1 to 8 which said cascade screen possesses the current block layer which was arranged so that current constriction structure might be formed, and which has opening, and is characterized by arranging said exoergic structure in said opening circles.

[Claim 10] Said semiconductor device is gallium nitride system compound semiconductor equipment according to claim 1 to 9 characterized by being semiconductor laser.

---

[Translation done.]

**\*NOTICES\***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to gallium nitride system compound semiconductor laser about gallium nitride system compound semiconductor equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, gallium nitride system compound semiconductors, such as GaN, InGaN, GaAlN, and InGaAlN, attract attention as an ingredient of blue semiconductor laser. In the semiconductor laser by these ingredients, it becomes possible to extract to a small beam by short wavelength-ization, and is expected as the light sources for high density information processing, such as an optical disk.

[0003] Generally as p mold impurity to a gallium nitride system compound semiconductor, i.e., a dopant, Mg (magnesium) is used. Since this impurity has deep acceptor level, the rate of activation is small and only 1/dozens become effective p mold carrier from several [ of the amount of doping / 1/]. If the dose of an impurity is increased too much in order to make a carrier consistency increase, the quality as a crystal of p type layer will deteriorate. Moreover, the report that a carrier consistency falls conversely is also performed in too much dose.

[0004] Since it is such, in the semiconductor device using the ingredient of this system, a low resistance p type layer cannot be obtained in essence. Moreover, since the carrier (p mold carrier, i.e., a hole) of p type layer is more remarkable than the carrier (n mold carrier, i.e., an electron) of n type layer and there are, it is in the situation which the carrier overflow to which n carrier overflows to p type layer exceeding a barrier layer tends to produce. [ few ] For this reason, when the ingredient of this system is used, it is difficult to realize the semiconductor device suitable for the practical use to an optical disk which operates by the low threshold and the low battery, and has high dependability. Moreover, the semiconductor device suitable for optical operations, such as a semiconductor device of the bistability mold of short wavelength or a self-oscillation type, is not realized, either.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention was made in consideration of the above-mentioned problem, and aims at offering the gallium nitride system compound semiconductor equipment suitable for the practical use to an optical disk etc. which operates by the low threshold and the low battery, and has high dependability. This invention aims at offering the gallium nitride system compound semiconductor equipment of the bistability mold of short wavelength, or a self-oscillation type again.

[0006]

[A means to solve a problem] The 1st view of this invention is set to gallium nitride system compound semiconductor equipment. The cascade screen which has two or more layers which become fundamental from the ingredient which a laminating is carried out so that pn junction may be formed, and is expressed with the following empirical formula, n lateral electrode and p lateral electrode which were connected to said cascade screen so that a current might be supplied to  $x+y+z=1$ ,  $0 \leq x, y$ , and the  $z \leq 1$  aforementioned pn junction  $\text{In}_x \text{Ga}_y \text{Al}_z \text{N}$  and here, It is characterized by providing that the exoergic structure formed in said cascade screen and said low resistance part are arranged in the side near [ part / said / high resistance ] said p lateral electrode so that the high resistance part of high resistance may adjoin relatively [ part / of low resistance / low resistance ] relatively.

[0007] In the equipment of the 1st view, the 2nd view of this invention is characterized by consisting of two fields where the carrier concentration formed in one layer differs, when said low resistance part and said high resistance part introduce an impurity with a different dose.

[0008] The 3rd view of this invention is characterized by choosing said impurity from the group which consists of Mg, Zn, P, and O in the equipment of the 2nd view. The 4th view of this invention is characterized by choosing said impurity from the group which consists of Si, Sn, Se, Te, germanium, and S in the equipment of the 2nd view.

[0009] The 5th view of this invention is characterized by for said low resistance part and said high resistance part having different electrical conductivity, and consisting of two layers by which the laminating was carried out in the equipment of the 1st view.

[0010] The 6th view of this invention is characterized by said high resistance part having the content of Ga lower than said low resistance part in the equipment of the 5th view. The 7th view of this invention is characterized by said high resistance part having the content of aluminum higher than said low resistance part in the equipment of the 5th view.

[0011] The 8th view of this invention is characterized by said high resistance part having the content of In higher than said low resistance part in that of the 5th view. Said cascade screen possesses the current block layer in which the 9th view of this invention has opening arranged so that current constriction structure might be formed in the equipment of the 1st



thru/or the 8th one of views, and it is characterized by arranging said exoergic structure in said opening circles. The 10th view of this invention is characterized by said semiconductor device being semiconductor laser in the equipment of the 1st thru/or the 9th one of views.

[0012]

[Embodiment of the Invention] With reference to an attached drawing, the gestalt of operation of this invention is explained below. In addition, in the following explanation, the same sign is given to the part which has almost same function and configuration, and it carries out to it if needed about duplication explanation.

[0013] Drawing 1 and drawing 2 are drawings showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of the operation from which this invention differs. The gestalt of these operations is characterized by forming the exoergic structure for making effectual p mold carrier increase by performing modulation doping to p type layer which becomes fundamental from the gallium nitride system compound semiconductor expressed with the empirical formula of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ). Here, modulation doping means doping which forms the field where the shades of carrier concentration, i.e., carrier concentration, differ in one layer by introducing a single or two or more impurities with a different dose.

[0014] More specifically in gallium nitride system compound semiconductor laser, the layer which performs modulation doping is arranged as a p-modulation layer between p lateral electrode and pn junction. In this case, the carrier poured in from p lateral electrode passes along the low resistance field which contains an impurity in high concentration first, and after that, a modulation layer sets it up so that it may pass along the high resistance field which contains an impurity in low concentration. Thus, when a carrier passes along a high resistance field from a low resistance field, generation of heat can be produced in a high resistance field. In this invention, this generation of heat was used, the problem of the conventional gallium nitride system semiconductor laser, i.e., p mold carrier concentration, is low, and the problem that an oscillation threshold is high is solved.

[0015] Usually, generation of heat leads to destruction of a component. However, this invention persons found out that generation of heat of p-modulation layer by the above-mentioned configuration had the following effectiveness. That is, deep Mg of the acceptor level contained by this generation of heat in p-modulation layer or adjoining p-layer is activated, and effectual p mold carrier increases. This generation of heat can be used only for generating effectual p mold carrier by optimizing the resistance and thickness of low resistance and a high resistance field especially. For this reason, for example, the oscillation threshold of semiconductor laser equipment can be made low.

[0016] In the semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 1 illustration, the laminating of the buffer layer 11 of Undoping GaN and the n-contact layer 12 of the Si dope GaN is carried out to order on the single crystal substrate 10, for example, silicon on sapphire. On n-contact layer 12, the laminating of the n-cladding layer 13 of the Si dope GaN, a barrier layer 14, and the p-cladding layer 15 of the Mg dope GaN is carried out to order, and double heterojunction structure is formed. A barrier layer 14 has the laminated structure of lightguide layer 14a of Undoping GaN, quantum well layer 14b of  $\text{InGaN/InGaIn}$ , and lightguide layer 14c of p-GaN.

[0017] On the p-cladding layer 15, the laminating of the high resistance expressed with the empirical formula of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN and  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) or the current block layer 17 of n mold, p-modulation layer 32 of the Mg dope GaN, and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, even the middle of p-contact layer 18 to n-contact layer 12 is etched partially, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of exposed n-contact layer 12, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0018] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [ conventional ].

[0019] Modulation doping of Impurity Mg is performed to p-modulation layer 32, and the impurity Mg concentration of that interior has distribution (in this case, it can be said also as distribution of p mold carrier concentration) of the drawing 1 (b) illustration. Like illustration, in the gestalt of this operation, two or more low resistance fields and two or more high resistance fields where Mg concentration is low where Mg concentration is high are formed so that it may be put in the vertical direction by turns. In addition, the topmost part and the bottom of this repetitive construct serve as a low resistance field where Mg concentration is high. Like the above-mentioned, the high resistance field where p mold carrier concentration is low turns into an exoergic field low [ Mg concentration ] therefore.

[0020] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 2 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 1 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0021] High resistance or the current block layer 17 of n mold is formed in the interior of the p-low resistive layer 16 as the middle class. The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Furthermore, p-modulation layer 34 is formed in the interior of the p-low resistive layer 16 corresponding to opening 17a of the current block layer 17. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [ conventional ].

[0022] In addition to p mold impurity Mg of the fixed concentration doped when forming the p-low resistive layer 16, p-modulation layer 34 contains n mold impurity Si introduced by modulation doping. Si concentration inside p-modulation layer 34 has distribution of the drawing 2 (b) illustration. Like illustration, piece place formation of the field where Si

concentration is high is carried out in the center of p-modulation layer 34 in the gestalt of this operation. In addition, the concentration of n mold impurity Si can maintain the conductivity type of p-modulation layer 34 in p mold at the maximum — it is set up low moderately. In order that n mold impurity Si may play the role which offsets the carrier of p mold impurity Mg, the field where Si concentration is high turns into a high resistance field where p mold carrier concentration is low, and the field where Si concentration of the upper and lower sides is low turns into a low resistance field where p mold carrier concentration is high. Like the above-mentioned, the high resistance field where p mold carrier concentration is low turns into an exoergic field.

[0023] In addition, it can set in the gestalt of implementation of drawing 1 and the drawing 2 illustration, and various approaches, such as metal-organic chemical vapor deposition and a molecular-beam grown method, can be used as the formation approach of a gallium nitride system compound semiconductor layer. Moreover, as the approach of modulation doping, various approaches, such as impurity diffusion and an ion implantation, can be used in addition to the approach of modulating at the time of growth. Moreover, modulation doping can also be performed so that distribution of a carrier may be formed in the longitudinal direction instead of a lengthwise direction.

[0024] According to the gestalt of implementation of drawing 1 and the drawing 2 illustration, in gallium nitride system compound semiconductor equipment, the equipment of a low threshold which was not obtained conventionally is realizable by forming exoergic structure by modulation doping.

[0025] Drawing 3 thru/or drawing 9 are the sectional views showing the component structure of the gallium nitride system compound semiconductor laser applied to the gestalt of still more nearly another operation of this invention, respectively. The gestalt of these operations becomes fundamental from the gallium nitride system compound semiconductor expressed with the empirical formula of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ). It is characterized by forming the exoergic structure for making effectual p mold carrier increase by arranging at least two p-low resistive layers of low resistance relatively [ resistive layer / of high resistance / p-quantity ], relatively, so that it may be inserted into p-quantity resistive layer between two p-low resistive layers.

[0026] More specifically in gallium nitride system compound semiconductor laser, exoergic structure is arranged as an exoergic laminated structure between p lateral electrode and pn junction. In this case, an exoergic laminated structure is set up so that the carrier poured in from p lateral electrode may pass along a p-low resistive layer and may pass along p-quantity resistive layer after that first. Thus, when a carrier passes along a high resistive layer from a low resistive layer, generation of heat can be produced in a high resistive layer. In this invention, this generation of heat was used, p mold carrier concentration is low and the problem of the conventional gallium nitride system semiconductor laser that an oscillation threshold is high is solved.

[0027] Usually, generation of heat leads to destruction of a component. However, this invention persons found out that generation of heat of the exoergic laminated structure by the above-mentioned configuration had the following effectiveness. That is, deep Mg of the acceptor level contained by this generation of heat in p-quantity resistive layer or an adjoining p-low resistive layer is activated, and effectual p mold carrier increases. This generation of heat can be used only for generating effectual p mold carrier by optimizing the resistance and thickness of a low resistive layer and a high resistive layer especially. For this reason, for example, the oscillation threshold of semiconductor laser equipment can be made low.

[0028] Furthermore, when changing the presentation of a high resistive layer and making it the difference of thermal conductivity arise, an exoergic field is controllable by diffusion of an impurity etc. Moreover, although generation of heat will decrease if an inrush current is reduced once oscillating with the carrier obtained by generation of heat therefore, it becomes high resistance and generation of heat takes place again. Therefore, since a carrier is maintained on oscillation level in order to step on the process in which a carrier is generated, a bistable state is shown.

[0029] In the semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration, the laminating of the buffer layer 11 of Undoping GaN and the n-contact layer 12 of the Si dope GaN is carried out to order on the single crystal substrate 10, for example, silicon on sapphire. On n-contact layer 12, the laminating of the n-cladding layer 13 of the Si dope GaN, a barrier layer 14, and the p-cladding layer 15 of the Mg dope GaN is carried out to order, and double heterojunction structure is formed. A barrier layer 14 has the laminated structure of lightguide layer 14a of Undoping GaN, quantum well layer 14b of InGaN/InGaP, and lightguide layer 14c of p-GaN.

[0030] On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN which contains high resistance or the current block layer 17 of n mold as an interlayer, p-quantity resistive layer 42 of Mg dope quantity resistance GaN, and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, even the middle of p-contact layer 18 to n-contact layer 12 is etched partially, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of exposed n-contact layer 12, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0031] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Moreover, an exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 42 in the p-low resistive layer 16 and p-KONTAKU layer 18. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [ conventional ].

[0032] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 4 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of high resistance or the current block layer 17 of n mold, the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN, p-quantity resistive layer 44 of Mg dope quantity resistance InGaP, and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-



contact layer 18.

[0033] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Moreover, an exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 44 in the p-low resistive layer 16 and p-KONTAKU layer 18. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0034] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 5 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-layer 45 of the Mg dope GaN, high resistance or the current block layer 17 of n mold, the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN, p-quantity resistive layer 46 of Mg dope quantity resistance GaAlN, and the p-KONTAKU layer 48 of Mg dope low resistance InGa<sub>0.2</sub>N is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 48.

[0035] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Moreover, an exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 46 in the p-low resistive layer 16 and p-KONTAKU layer 48. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0036] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 6 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN which contains high resistance or the current block layer 17 of n mold as an interlayer, p-quantity resistive layer 52 of Mg dope quantity resistance In<sub>0.3</sub>GaN, the p-low resistive layer 54 of Mg dope low resistance GaN, and the p-KONTAKU layer 56 of Mg dope low resistance In<sub>0.2</sub>GaN is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 56.

[0037] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Moreover, an exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 52 by the p-low resistive layer 16 and the p-low resistive layer 54. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0038] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 7 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to a barrier layer 14 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On a barrier layer 14, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN which contains the p-cladding layer 62 of Mg dope low resistance GaAl<sub>0.3</sub>N, p-quantity resistive layer 64 of Mg dope quantity resistance GaAl<sub>0.4</sub>N, high resistance, or the current block layer 17 of n mold as an interlayer, and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0039] An exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 64 by the p-cladding layer 62 and the p-low resistive layer 16. Moreover, the current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0040] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 8 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN which contains the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN, the p-layer 45 of the Mg dope GaN, p-quantity resistive layer 46 of Mg dope quantity resistance GaAlN, high resistance, or the current block layer 17 of n mold as an interlayer is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0041] An exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 46 in the p-low resistive layer 16 and the p-layer 45, and p-KONTAKU layer 18. Moreover, the current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0042] The semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 9 illustration has the structure same from silicon on sapphire 10 to the p-cladding layer 15 as the gestalt of implementation of the drawing 3 illustration. On the p-cladding layer 15, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN, high resistance or the current block layer 17 of n mold, the p-layer 51 of the Mg dope GaAlN, p-quantity resistive layer 52 of Mg dope quantity resistance In<sub>0.3</sub>GaN, and the p-KONTAKU layer 55 of Mg dope low resistance In<sub>0.2</sub>GaN is carried out to order. Moreover, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of n-contact layer 12 exposed by etching, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0043] The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Moreover, an exoergic laminated structure is formed by inserting p-quantity resistive layer 52 in the p-layer 51 and p-KONTAKU layer 55. the threshold of the laser of this structure — 1 kA/cm<sup>2</sup> it is — it has become 1/5 or less [conventional].

[0044] According to the gestalt of implementation of drawing 3 thru/or the drawing 9 illustration, in gallium nitride system compound semiconductor equipment, the semiconductor device of a low threshold which was not obtained conventionally is realizable by forming the exoergic laminated structure by which p-quantity resistive layer is sandwiched between two p-low resistive layers.

[0045] Drawing 10 is the sectional view showing the component structure of the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention. The gestalt of this operation is characterized by forming the exoergic structure for making effectual p mold carrier increase from the gallium nitride system compound semiconductor expressed with the empirical formula of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) into p-embedding layer which becomes fundamental which embeds opening (current path) of the current constriction structure of a semiconductor device. That is, in the gestalt of this operation, the exoergic structure by the exoergic structure by modulation doping explained with the gestalt of implementation of drawing 1 and the drawing 2 illustration, the exoergic laminated structure explained with the gestalt of implementation of drawing 3 thru/or the drawing 9 illustration is formed in the embedding circles of opening of the current constriction structure of semiconductor laser.

[0046] In the semiconductor laser of the gestalt of implementation of the drawing 10 illustration, the laminating of the buffer layer 11 of Undoping GaN and the n-contact layer 12 of the Si dope GaN is carried out to order on the single crystal substrate 10, for example, silicon on sapphire. On n-contact layer 12, the laminating of the n-cladding layer 13 of the Si dope GaIN, a barrier layer 14, and the p-cladding layer 15 of the Mg dope GaAIN is carried out to order, and double heterojunction structure is formed. Bandgap energy differs and a barrier layer 14 has the multiplex quantum well (MQW) structure where each thickness consists of periodic structure which consists of repeats which are the InGaIN layers which are two kinds 10nm or less.

[0047] On the p-cladding layer 15, the current block layer 17 of the non dope quantity resistance GaN is formed. The current block layer 17 has opening 17a of the shape of a stripe with a width of face of 3 micrometers, and, thereby, current constriction structure is formed. Opening 17a is relatively embedded by the embedding layer 19 in which p-quantity resistive layer 74 of high resistance has relatively two p-low resistive layers 72 of low resistance, and the exoergic laminated structure by which it was inserted among 76. The p-low resistive layers 72 and 76 consist of Mg dope low resistance GaN, and p-quantity resistive layer 74 consists of Mg dope quantity resistance GaAIN. In addition, like the above-mentioned, it can replace with an exoergic laminated structure, for example, can embed by modulation doping of Mg, and exoergic structure can also be formed in a layer 19 (refer to drawing 2 ).

[0048] On the current block layer 17 and the embedding layer 19, the laminating of the p-low resistive layer 16 of Mg dope low resistance GaN and the p-KONTAKU layer 18 of Mg dope low resistance GaN is carried out to order. Moreover, even the middle of p-contact layer 18 to n-contact layer 12 is etched partially, the n lateral electrode 21 is arranged in the front face of exposed n-contact layer 12, and the p lateral electrode 22 is arranged in the front face of p-contact layer 18.

[0049] Opening 17a of the current block layer 17 which forms current constriction structure can be made into the stripe width of face of arbitration by controlling etching. While it can lower to extent which can disregard the effect to the barrier layer 14 of the heat generated with the exoergic structure of the embedding section 19 by narrowing stripe width of face to 3 micrometers or less, to the embedding section 19, heat can be supplied efficiently, and a carrier can be activated. Consequently, in other fields other than embedding section 19, since p mold carrier increases, carrier overflow decreases, the threshold for laser oscillation is reduced, and the embedding section 19 can lower temperature conversely, although temperature rises locally.

[0050] In the gestalt of implementation of the drawing 10 illustration, the presentation of the arbitration of GaN, GaInN, and GaAIN can be used as a presentation of the exoergic layer within exoergic structure, or an exoergic field. For example, it is also possible by using the embedding layer 19 as a GaInN layer altogether, and changing a dopant, or changing the amount of doping to change electrical conductivity. When laser actuation is actually performed and diffusion of a dopant may become a problem, even if GaAIN, then a metaphor dopant diffuse one layer in the embedding layer 19, or all, since it is relatively deep as compared with the acceptor level of the same dopant in GaN and GaInN, the acceptor level of the dopant in GaAIN can change a carrier consistency, and electrical conductivity changes.

[0051] Moreover, in the gestalt of implementation of the drawing 10 illustration, although the high resistive layer 74 in the pad layer 19 is inserted into the low resistive layers 72 and 76, the high resistive layer 74 may be embedded and you may set on the bottom or the top of a layer 19. For example, the GaAIN layer by which Mg dope was carried out as a high resistive layer may be embedded and formed in opening 17a of the current block layer 17 so that it may be located in right above [ of the p-GaAIN cladding layer 15 ]. Furthermore, it is also possible to consider all opening 17a as the configuration which embeds in the single embedding layer of high resistance rather than a p-GaN layer. Moreover, the current block layer 17 can also be formed into [ instead of on the p-GaAIN cladding layer 15 ] a cladding layer 15, and can also be prepared instead of a cladding layer 15. Furthermore, it is also possible to form current constriction structure and exoergic structure in a n layer side.

[0052] According to the gestalt of implementation of the drawing 10 illustration, in gallium nitride system compound semiconductor equipment, the semiconductor device of a low threshold which was not obtained conventionally is realizable by forming exoergic structure in p-pad layer which embeds opening of current constriction structure.

[0053] In addition, in the gestalt of implementation of drawing 1 thru/or the drawing 10 illustration, in order to form the exoergic layer or exoergic field within exoergic structure, a carrier may be decreased by doping Zn, P, and O, and forming a deep level besides Mg, or considering as a non dope. Furthermore, the thin field and thin layer which were formed into n mold may be formed by doping Si, Sn, Se, Te, little germanium, little S, etc.

[0054] Moreover, in the gestalt of implementation of drawing 1 thru/or the drawing 10 illustration, although the presentation of each class is shown concretely, these can be variously changed in the range of the empirical formula of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ). Moreover, in the gestalt of these operations, although the semiconductor laser of the double hetero structure which sandwiches a barrier layer by the cladding layer was mentioned as the example, this invention is also applicable to the semiconductor laser of the SCH (Separate Confining Hetero-Structure) structure which



- sandwiches a barrier layer in the guide layer which consists of GaN or InGaN, and faces across the outside by the cladding layer further. Moreover, in the gestalt of these operations, as a form of current constriction structure, although the semiconductor laser of IS (Inner Stripe) mold was mentioned as the example, this invention is also applicable to the semiconductor laser of other form, such as BH (Buried Hetero-structure) mold and a BSR (Selectively Buried Ridge Wave guide) mold. Furthermore, this invention is applicable to other semiconductor devices using the gallium nitride system compound semiconductor layer expressed not only with semiconductor laser but with the empirical formula of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_y\text{N}_{1-y}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ), and two or more semiconductor devices integrated on the same substrate.

[0055]

[Effect of the Invention] According to this invention, the gallium nitride system compound semiconductor equipment suitable for the practical use to an optical disk etc. which operates by the low threshold and the low battery, and has high dependability can be offered by forming exoergic structure between p lateral electrode and pn junction. Furthermore, by this configuration, although the gallium nitride system compound semiconductor equipment of the bistability mold of short wavelength or a self-oscillation type is offered, it can do.

---

[Translation done.]



**\*NOTICES\***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

**[Drawing 1]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of operation of this invention.

**[Drawing 2]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of another operation of this invention.

**[Drawing 3]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 4]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 5]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 6]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 7]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 8]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 9]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Drawing 10]** Drawing showing the gallium nitride system compound semiconductor laser concerning the gestalt of still more nearly another operation of this invention.

**[Description of Notations]**

10 — Silicon on sapphire

11 — Non dope GaN buffer layer

12 — n-GaN contact layer

13 — n-GaAlN cladding layer

14 — Barrier layer

15 — p-GaAlN cladding layer

16 — p-GaN low resistive layer

17 — Current block layer

17a — Opening

18 — p-GaN contact layer

21 — n lateral electrode

22 — p lateral electrode

32 34 — Modulation layer

42, 44, 46, 52, 64, 74 — Quantity resistive layer

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-31866

(43)公開日 平成11年(1999) 2月2日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平9-188523

(22)出願日

平成9年(1997) 7月14日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 山本 雅裕

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 布上 真也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

最終頁に続く

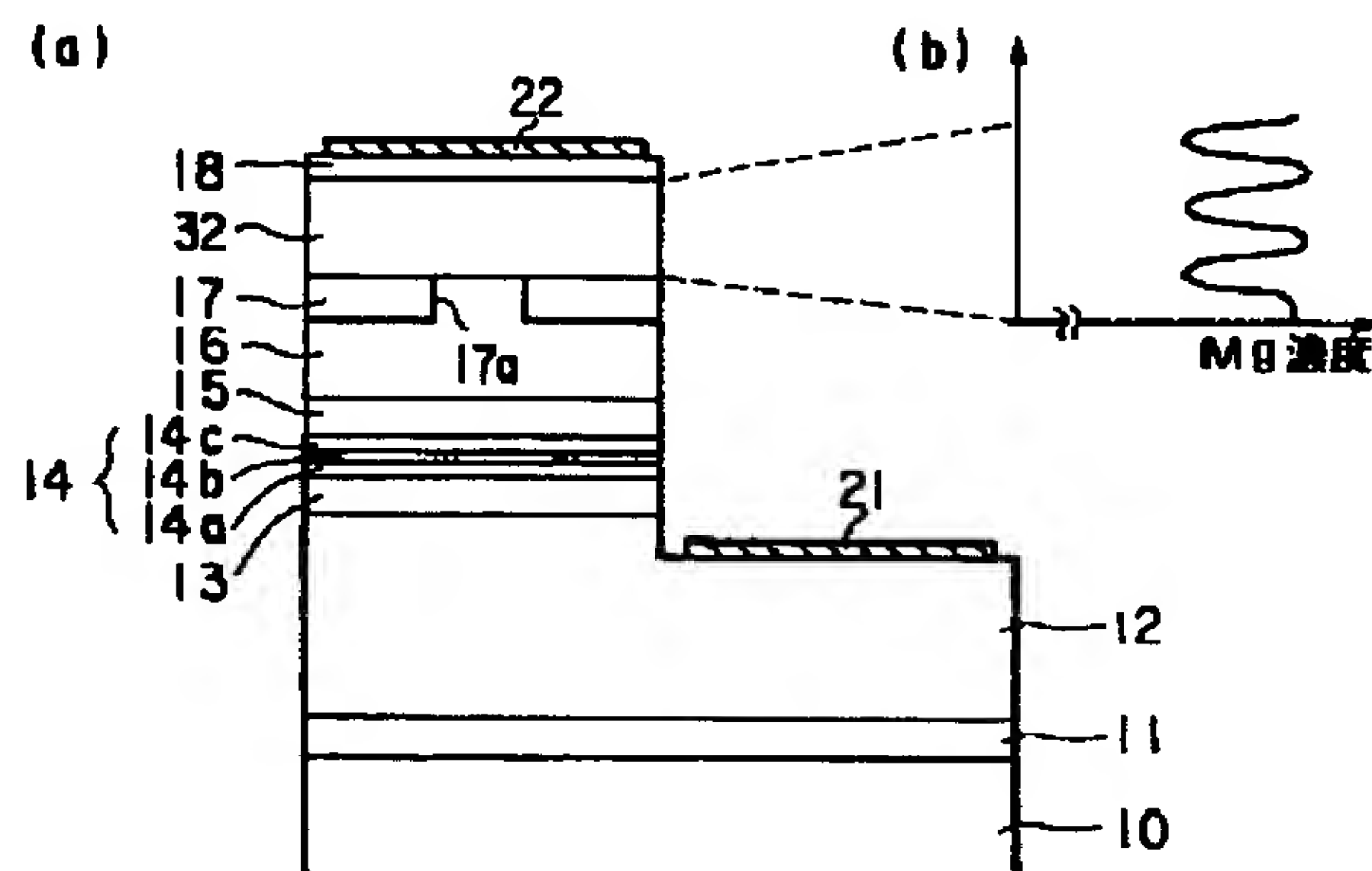
(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体装置

(57)【要約】

【課題】窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて実効的なp型キャリアを増加させる。

【解決手段】窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、サファイア基板10上に形成されたダブルヘテロ接合構造13、14、15を有する。ダブルヘテロ接合構造の上には、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、高抵抗またはn型の電流ブロック層17、MgドープGaNのp-変調層32、及びMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。p-変調層32において、Mg濃度の高い複数の低抵抗領域とMg濃度の低い複数の高抵抗領域とが、上下方向に交互に積重ねられ、p型キャリアを増加させるための発熱構造が形成される。

(a)





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】pn接合を形成するように積層され、下記の組成式で表される材料から基本的になる複数の層を有する積層膜と、

$In_xGa_yAl_zN$ 、ここで  $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$

前記pn接合に電流を供給するように前記積層膜に接続されたn側電極及びp側電極と、

相対的に低抵抗の低抵抗部分と相対的に高抵抗の高抵抗部分とが隣接するように、前記積層膜内に形成された発熱構造と、前記低抵抗部分は前記高抵抗部分よりも前記p側電極に近い側に配設されることと、を具備することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項2】前記低抵抗部分及び前記高抵抗部分は、不純物を異なるドーズ量で導入することにより1つの層内に形成された、キャリア濃度の異なる2つの領域からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項3】前記不純物はMg、Zn、P、Oからなる群から選択されることを特徴とする請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項4】前記不純物はSi、Sn、Se、Te、Ge、Sからなる群から選択されることを特徴とする請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項5】前記低抵抗部分及び前記高抵抗部分は、異なる電気伝導度を有し且つ積層された2つの層からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項6】前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもGaの含有率が低いことを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項7】前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもAlの含有率が高いことを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項8】前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもInの含有率が高いことを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項9】前記積層膜は電流狭窄構造を形成するように配設された、開口部を有する電流ブロック層を具備し、前記発熱構造は前記開口部内に配設されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

【請求項10】前記半導体装置は半導体レーザであることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体装置に関し、特に窒化ガリウム系化合物半導体レーザに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、GaN、InGaN、GaAlN、InGaAlN等の窒化ガリウム系化合物半導体が青色半導体レーザの材料として注目されている。これらの材料による半導体レーザでは、短波長化により小さなビームに絞ることが可能となり、光ディスク等高密度情報処理用の光源として期待されている。

【0003】窒化ガリウム系化合物半導体に対するp型不純物即ちドーパントとしては、一般的にMg（マグネシウム）が使用されている。この不純物はアクセプタ準位が深いために活性化率が小さく、ドーピング量の数分の一から数十分の一しか有効なp型キャリアとならない。キャリア密度を増加させるために不純物のドーズ量を過度に増やすとp型層の結晶としての品質が低下してしまう。また過度のドーズ量では逆にキャリア密度が下がるという報告も行われている。

【0004】このような理由から、この系の材料を用いた半導体装置においては、本質的に低抵抗p型層は得ることができない。また、p型層のキャリア（p型キャリア、即ちホール）がn型層のキャリア（n型キャリア、即ち電子）よりも著しく少ないため、活性層を越えてp型層までnキャリアが溢れ出るキャリアオーバーフローが生じやすい状況にある。このため、この系の材料を用いた場合、低しきい値及び低電圧で動作し且つ高い信頼性を有するような、光ディスク等への実用に適した半導体装置を実現することが難しい。また、短波長の双安定型や自励発振型の半導体装置等の、光演算に適した半導体装置も実現されていない。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述の問題を考慮してなされたもので、低しきい値及び低電圧で動作し且つ高い信頼性を有する、光ディスク等への実用に適した窒化ガリウム系化合物半導体装置を提供することを目的とする。本発明はまた、短波長の双安定型や自励発振型の窒化ガリウム系化合物半導体装置を提供することを目的とする。

## 【0006】

【問題を解決する手段】本発明の第1の視点は、窒化ガリウム系化合物半導体装置において、pn接合を形成するように積層され、下記の組成式で表される材料から基本的になる複数の層を有する積層膜と、

$In_xGa_yAl_zN$ 、ここで  $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$

前記pn接合に電流を供給するように前記積層膜に接続されたn側電極及びp側電極と、相対的に低抵抗の低抵抗部分と相対的に高抵抗の高抵抗部分とが隣接するように、前記積層膜内に形成された発熱構造と、前記低抵抗部分は前記高抵抗部分よりも前記p側電極に近い側に配設されることと、を具備することを特徴とする。

【0007】本発明の第2の視点は、第1の視点の装置

において、前記低抵抗部分及び前記高抵抗部分は、不純物を異なるドーズ量で導入することにより1つの層内に形成された、キャリア濃度の異なる2つの領域からなることを特徴とする。

【0008】本発明の第3の視点は、第2の視点の装置において、前記不純物はMg、Zn、P、Oからなる群から選択されることを特徴とする。本発明の第4の視点は、第2の視点の装置において、前記不純物はSi、Sn、Se、Te、Ge、Sからなる群から選択されることを特徴とする。

【0009】本発明の第5の視点は、第1の視点の装置において、前記低抵抗部分及び前記高抵抗部分は、異なる電気伝導度を有し且つ積層された2つの層からなることを特徴とする。

【0010】本発明の第6の視点は、第5の視点の装置において、前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもGaの含有率が低いことを特徴とする。本発明の第7の視点は、第5の視点の装置において、前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもAlの含有率が高いことを特徴とする。

【0011】本発明の第8の視点は、第5の視点の装置において、前記高抵抗部分は前記低抵抗部分よりもInの含有率が高いことを特徴とする。本発明の第9の視点は、第1乃至第8のいずれかの視点の装置において、前記積層膜は電流狭窄構造を形成するように配設された、開口部を有する電流ブロック層を具備し、前記発熱構造は前記開口部内に配設されることを特徴とする。本発明の第10の視点は、第1乃至第9のいずれかの視点の装置において、前記半導体装置は半導体レーザであることを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】以下添付の図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の説明において、ほぼ同じ機能及び構成を有する部分には、同一符号を付し、重複説明については必要に応じて行なう。

【0013】図1及び図2は、本発明の異なる実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図である。これらの実施の形態は、 $In_xGa_{1-x}Al_yN$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の組成式で表される窒化ガリウム系化合物半導体から基本的になるp型層に変調ドーピングを施すことにより、実効的なp型キャリアを増加させるための発熱構造を形成したことを特徴とする。ここで、変調ドーピングとは、単一若しくは複数の不純物を異なるドーズ量で導入することにより、1つの層内にキャリア濃度の濃淡、即ちキャリア濃度の異なる領域を形成するドーピングを意味する。

【0014】より具体的には、窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて、変調ドーピングを施す層は、p側電極とpn接合との間にp-変調層として配設する。この場合、変調層は、p側電極から注入されたキャリア

が、まず、高濃度に不純物を含む低抵抗領域を通り、その後、低濃度に不純物を含む高抵抗領域を通るように設定する。このように、キャリアが低抵抗領域から高抵抗領域を通るようにすることにより、高抵抗領域において発熱を生じさせることができる。本発明においては、この発熱を利用し、従来の窒化ガリウム系半導体レーザの問題、即ちp型キャリア濃度が低く、発振しきい値が高いという問題を解消している。

【0015】通常、発熱は素子の破壊につながる。しかし、本発明者らは、上記構成によるp-変調層の発熱は次のような効果を有することを見出した。即ち、この発熱によりp-変調層或いは隣接するp-層内に含まれるアクセプタ準位の深いMgが活性化され、実効的なp型キャリアが増加する。特に、低抵抗及び高抵抗領域の抵抗値及び厚さを最適化することにより、実効的なp型キャリアを生成することのみにこの発熱を利用することができる。このため、例えば、半導体レーザ装置の発振しきい値を低くすることができる。

【0016】図1図示の実施の形態の半導体レーザにおいて、単結晶基板、例えばサファイア基板10上に、アンドープGaNのバッファ層11、SiドープGaNのn-コンタクト層12が順に積層される。n-コンタクト層12上には、SiドープGaAlNのn-クラッド層13、活性層14、及びMgドープGaAlNのp-クラッド層15が順に積層され、ダブルヘテロ接合構造が形成される。活性層14は、アンドープGaNの光ガイド層14a、InGa $N$ /InGa $N$ の量子井戸層14b、及びp-GaNの光ガイド層14cの積層構造を有する。

【0017】p-クラッド層15の上には、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、 $In_xGa_{1-x}Al_yN$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の組成式で表される高抵抗またはn型の電流ブロック層17、MgドープGaNのp-変調層32、及びMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。また、p-コンタクト層18からn-コンタクト層12の途中までが部分的にエッチングされ、露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0018】電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0019】p-変調層32に対しては不純物Mgの変調ドーピングが施され、その内部の不純物Mg濃度は、図1(b)図示の分布(この場合はp型キャリア濃度の分布ともいえる)を有する。図示の如く、本実施の形態においては、Mg濃度の高い複数の低抵抗領域とMg濃度の低い複数の高抵抗領域とが、上下方向に交互に積重ねられるように形成される。なお、この繰返し構造の最



上部及び最下部はMg濃度の高い低抵抗領域となっている。前述の如く、Mg濃度の低く、従ってp型キャリア濃度の低い高抵抗領域が発熱領域となる。

【0020】図2図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図1図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層15の上には、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16及びMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0021】p-低抵抗層16の内部には中間層として高抵抗またはn型の電流ブロック層17が形成される。電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。更に、p-低抵抗層16の内部には、電流ブロック層17の開口部17aに対応してp-変調層34が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0022】p-変調層34は、p-低抵抗層16を形成する際にドープされた一定濃度のp型不純物Mgに加えて、変調ドーピングにより導入されたn型不純物Siを含有する。p-変調層34の内部のSi濃度は、図2(b)図示の分布を有する。図示の如く、本実施の形態においては、Si濃度の高い領域がp-変調層34の中央に一個所形成される。なお、n型不純物Siの濃度は最大でも、p-変調層34の導電性をp型に維持できる適度に低く設定される。n型不純物Siはp型不純物Mgのキャリアを相殺する役割を果たすため、Si濃度の高い領域は、p型キャリア濃度の低い高抵抗領域となり、その上下のSi濃度の低い領域は、p型キャリア濃度の高い低抵抗領域となる。前述の如く、p型キャリア濃度の低い高抵抗領域が発熱領域となる。

【0023】なお、図1及び図2図示の実施の形態において、窒化ガリウム系化合物半導体層の形成方法としては、有機金属気相成長法や分子線成長法等の種々の方法を用いることができる。また、変調ドーピングの方法としては、成長時に変調する方法以外に、不純物拡散、イオン注入等、種々の方法を用いることができる。また、変調ドーピングは、縦方向でなく、横方向にキャリアの分布を形成するように行なうこともできる。

【0024】図1及び図2図示の実施の形態によれば、窒化ガリウム系化合物半導体装置において、変調ドーピングにより発熱構造を形成することにより、従来得られなかった低しきい値の装置を実現することができる。

【0025】図3乃至図9は、夫々本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。これらの実施の形態は、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>N (0 $\leq$ x $\leq$ 1、0 $\leq$ y $\leq$ 1)の

組成式で表される窒化ガリウム系化合物半導体から基本的になる、相対的に高抵抗のp-高抵抗層と相対的に低抵抗の少なくとも2つのp-低抵抗層とを、p-高抵抗層が2つのp-低抵抗層間に挟まれるように配設することにより、実効的なp型キャリアを増加させるための発熱構造を形成したことを特徴とする。

【0026】より具体的には、窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて、発熱構造は、p側電極とpn接合との間に発熱積層構造として配設する。この場合、発熱積層構造は、p側電極から注入されたキャリアが、まず、p-低抵抗層を通り、その後、p-高抵抗層を通るように設定する。このように、キャリアが低抵抗層から高抵抗層を通るようにすることにより、高抵抗層において発熱を生じさせることができる。本発明においては、この発熱を利用し、p型キャリア濃度が低く、発振しきい値が高いという従来の窒化ガリウム系半導体レーザの問題を解消している。

【0027】通常、発熱は素子の破壊につながる。しかし、本発明者らは、上記構成による発熱積層構造の発熱は次のような効果を有することを見出した。即ち、この発熱によりp-高抵抗層或いは隣接するp-低抵抗層内に含まれるアクセプタ準位の深いMgが活性化され、実効的なp型キャリアが増加する。特に、低抵抗層及び高抵抗層の抵抗値及び厚さを最適化することにより、実効的なp型キャリアを生成することのみにこの発熱を利用することができる。このため、例えば、半導体レーザ装置の発振しきい値を低くすることができる。

【0028】更に、高抵抗層の組成を変化させ、熱伝導率の差が生じるようにすることにより、不純物の拡散等で発熱領域のコントロールを行なうことができる。また、一度、発熱で得られたキャリアにより発振した後、注入電流を減らすと、発熱が減るが、そのため高抵抗となり、発熱が再び起こる。そのためキャリアが発生するという過程を踏むため、キャリアは発振レベルで保たれるので、双安定状態を示す。

【0029】図3図示の実施の形態の半導体レーザにおいて、単結晶基板、例えばサファイア基板10上に、アンドープGaNのバッファ層11、SiドープGaNのn-コンタクト層12が順に積層される。n-コンタクト層12上には、SiドープGaAlNのn-クラッド層13、活性層14、及びMgドープGaAlNのp-クラッド層15が順に積層され、ダブルヘテロ接合構造が形成される。活性層14は、アンドープGaNの光ガイド層14a、InGa<sub>1-x</sub>N/InGa<sub>1-x</sub>Nの量子井戸層14b、及びp-GaNの光ガイド層14cの積層構造を有する。

【0030】p-クラッド層15の上には、高抵抗またはn型の電流ブロック層17を中間層として含むMgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、Mgドープ高抵抗GaNのp-高抵抗層42、及びMgドープ低抵抗G

a Nのp-コンタクト層18が順に積層される。また、p-コンタクト層18からn-コンタクト層12の途中までが部分的にエッチングされ、露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0031】電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。また、p-高抵抗層42がp-低抵抗層16及びp-コンタクト層18で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0032】図4図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層15の上には、高抵抗またはn型の電流ブロック層17、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、Mgドープ高抵抗InGaNのp-高抵抗層44、及びMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0033】電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。また、p-高抵抗層44がp-低抵抗層16及びp-コンタクト層18で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0034】図5図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層15の上には、MgドープGaNのp-層45、高抵抗またはn型の電流ブロック層17、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、Mgドープ高抵抗GaAlNのp-高抵抗層46、及びMgドープ低抵抗InGaNのp-コンタクト層48が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層48の表面にはp側電極22が配設される。

【0035】電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。また、p-高抵抗層46がp-低抵抗層16及びp-コンタクト層48で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0036】図6図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層

15の上には、高抵抗またはn型の電流ブロック層17を中間層として含むMgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、Mgドープ高抵抗In<sub>0.3</sub>GaNのp-高抵抗層52、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層54、及びMgドープ低抵抗In<sub>0.2</sub>GaNのp-コンタクト層56が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層56の表面にはp側電極22が配設される。

【0037】電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。また、p-高抵抗層52がp-低抵抗層16及びp-低抵抗層54で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0038】図7図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10から活性層14まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。活性層14上には、Mgドープ低抵抗GaAl<sub>0.3</sub>Nのp-クラッド層62、Mgドープ高抵抗GaAl<sub>0.4</sub>Nのp-高抵抗層64、高抵抗またはn型の電流ブロック層17を中間層として含むMgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、及びMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0039】p-高抵抗層64がp-クラッド層62及びp-低抵抗層16で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。また、電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、1kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の1/5以下となっている。

【0040】図8図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層15の上には、Mgドープ低抵抗GaNのp-低抵抗層16、MgドープGaNのp-層45、Mgドープ高抵抗GaAlNのp-高抵抗層46、高抵抗またはn型の電流ブロック層17を中間層として含むMgドープ低抵抗GaNのp-コンタクト層18が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0041】p-高抵抗層46がp-低抵抗層16及びp-層45とp-コンタクト層18とで挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。また、電流ブロック層17は3 $\mu$ mの幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。この構造の



レーザのしきい値は、 $1\text{ kA/cm}^2$  であり、従来の  $1/5$  以下となっている。

【0042】図9図示の実施の形態の半導体レーザは、サファイア基板10からp-クラッド層15まで、図3図示の実施の形態と同じ構造を有する。p-クラッド層15の上には、Mgドープ低抵抗Ga<sub>1-x</sub>Nのp-低抵抗層16、高抵抗またはn型の電流ブロック層17、MgドープGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nのp-層51、Mgドープ高抵抗In<sub>0.2</sub>GaNのp-高抵抗層52、及びMgドープ低抵抗In<sub>0.2</sub>GaNのp-コンタクト層55が順に積層される。また、エッチングにより露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0043】電流ブロック層17は3 $\mu\text{m}$ の幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。また、p-高抵抗層52がp-層51及びp-コンタクト層55で挟まれることにより、発熱積層構造が形成される。この構造のレーザのしきい値は、 $1\text{ kA/cm}^2$  であり、従来の  $1/5$  以下となっている。

【0044】図3乃至図9図示の実施の形態によれば、窒化ガリウム系化合物半導体装置において、p-高抵抗層が2つのp-低抵抗層間に挟まれる発熱積層構造を形成することにより、従来得られなかった低しきい値の半導体装置を実現することができる。

【0045】図10は、本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザの素子構造を示す断面図である。この実施の形態は、半導体装置の電流狭窄構造の開口部（電流通路）を埋め込む、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の組成式で表される窒化ガリウム系化合物半導体から基本的になるp-埋め込み層内に、実効的なp型キャリアを増加させるための発熱構造を形成したことを特徴とする。即ち、この実施の形態においては、図1及び図2図示の実施の形態で説明した変調ドーピングによる発熱構造や、図3乃至図9図示の実施の形態で説明した発熱積層構造等による発熱構造を、半導体レーザの電流狭窄構造の開口部の埋め込み部内に形成するものである。

【0046】図10図示の実施の形態の半導体レーザにおいて、単結晶基板、例えばサファイア基板10上に、アンドープGa<sub>1-x</sub>Nのバッファ層11、SiドープGa<sub>1-x</sub>Nのn-コンタクト層12が順に積層される。n-コンタクト層12上には、SiドープGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nのn-クラッド層13、活性層14、及びMgドープGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nのp-クラッド層15が順に積層され、ダブルヘテロ接合構造が形成される。活性層14は、バンドギャップエネルギーが異なり、それぞれの厚さが10nm以下の2種類のInGaAlN層の繰り返しで構成される周期構造からなる多重量子井戸(MQW)構造を有する。

【0047】p-クラッド層15の上には、ノンドープ高抵抗Ga<sub>1-x</sub>Nの電流ブロック層17が形成される。電流

ブロック層17は3 $\mu\text{m}$ の幅のストライプ状の開口部17aを有し、これにより電流狭窄構造が形成される。開口部17aは、相対的に高抵抗のp-高抵抗層74が相対的に低抵抗の2つのp-低抵抗層72、76間に挟まれた発熱積層構造を有する、埋め込み層19により埋め込まれる。p-低抵抗層72、76はMgドープ低抵抗Ga<sub>1-x</sub>Nからなり、p-高抵抗層74はMgドープ高抵抗Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nからなる。なお、前述の如く、発熱積層構造に代え、例えばMgの変調ドーピングにより埋め込み層19内に発熱構造を形成することもできる(図2参照)。

【0048】電流ブロック層17及び埋め込み層19上には、Mgドープ低抵抗Ga<sub>1-x</sub>Nのp-低抵抗層16及びMgドープ低抵抗Ga<sub>1-x</sub>Nのp-コンタクト層18が順に積層される。また、p-コンタクト層18からn-コンタクト層12の途中までが部分的にエッチングされ、露出したn-コンタクト層12の表面にはn側電極21が配設され、p-コンタクト層18の表面にはp側電極22が配設される。

【0049】電流狭窄構造を形成する電流ブロック層17の開口部17aは、エッチングを制御することによって任意のストライプ幅にすることができる。ストライプ幅を3 $\mu\text{m}$ 以下に狭めることにより、埋め込み部19の発熱構造で発生した熱の活性層14に対する影響を無視できる程度まで下げることができる一方、埋め込み部19に対しては効率よく熱を供給してキャリアを活性化させることができる。この結果、埋め込み部19は局所的に温度が上昇するが、埋め込み部19以外の他の領域では、p型キャリアが増加するためにキャリアオーバーフローが減少し、レーザ発振のためのしきい値が低減され、温度を逆に下げることができる。

【0050】図10図示の実施の形態において、発熱構造内の発熱層或いは発熱領域の組成としてはGa<sub>1-x</sub>N、Ga<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>N、Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nの任意の組成を用いることができる。例えば、埋め込み層19を全てGa<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>N層とし、ドーパントを変えるかドーピング量を変えることにより電気伝導度を変えることも可能である。実際にレーザ動作を行った時にドーパントの拡散が問題になる可能性がある場合には、埋め込み層19内の一つの層、または全部をGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nとすれば、例えドーパントが拡散してもGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>N中のドーパントのアクセプタ準位はGa<sub>1-x</sub>N、Ga<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>Nにおける同じドーパントのアクセプタ準位と比較して相対的に深いために、キャリア密度を変えることができ、電気伝導度が変化する。

【0051】また、図10図示の実施の形態においては、埋め込み層19内の高抵抗層74が、低抵抗層72、76に挟まれているが、高抵抗層74を埋め込み層19の一番下または一番上においてもよい。例えば、高抵抗層としてMgドープされたGa<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>N層を、p-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>y</sub>Nクラッド層15の直上に位置するように、電流ブ

ック層17の開口部17aに埋め込み形成してもよい。更に、開口部17aを全てp-GaN層よりも高抵抗の単一の埋め込み層で埋め込む構成とすることも可能である。また、電流ブロック層17は、p-GaAlNクラッド層15の上ではなく、クラッド層15中に設けることもできるし、クラッド層15の代わりに設けることもできる。更に、n層側に電流狭窄構造や発熱構造を形成することも可能である。

【0052】図10図示の実施の形態によれば、窒化ガリウム系化合物半導体装置において、電流狭窄構造の開

口部を埋め込むp-埋込み層内に発熱構造を形成することにより、従来得られなかった低しきい値の半導体装置を実現することができる。

【0053】なお、図1乃至図10図示の実施の形態において、発熱構造内の発熱層或いは発熱領域を形成するため、Mg以外にもZn、P、Oをドープして深い準位を形成するか、ノンドープとすることによりキャリアを減少させてもよい。更に少量のSi、Sn、Se、Te、Ge、S等をドープすることによりn型化した薄い領域や層を形成してもよい。

【0054】また、図1乃至図10図示の実施の形態においては、各層の組成を具体的に示しているが、これらは、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の組成式の範囲で種々変更することができる。また、これらの実施の形態においては、活性層をクラッド層で挟むダブルヘテロ構造の半導体レーザを例に挙げたが、本発明は、活性層をGaNまたはInGaNからなるガイド層で挟み、更にその外側をクラッド層で挟むSCH (Separate Confining Hetero-Structure) 構造の半導体レーザに適用することもできる。また、これらの実施の形態においては、電流狭窄構造の型式として、IS (Inner Stripe) 型の半導体レーザを例に挙げたが、本発明は、BH (Buried Hetero-structure) 型、BSR (Selectively Buried Ridge Wave guide) 型等の他の型式の半導体レーザに適用することもできる。更に、本発明は、半導体レーザに限らず、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) の組成式で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を用いた他の半導体装置や、同一基板上に集積化された複数の半導体装置に適用することができる。

【0055】

【発明の効果】本発明によれば、p側電極とpn接合と

の間に発熱構造を形成することにより、低しきい値及び低電圧で動作し且つ高い信頼性を有する、光ディスク等への実用に適した窒化ガリウム系化合物半導体装置を提供することができる。また更に、同構成により、短波長の双安定型や自励発振型の窒化ガリウム系化合物半導体装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図2】本発明の別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図3】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図4】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図5】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図6】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図7】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図8】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図9】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【図10】本発明の更に別の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す図。

【符号の説明】

10…サファイア基板

11…ノンドープGaNバッファ層

12…n-GaNコンタクト層

13…n-GaAlNクラッド層

14…活性層

15…p-GaAlNクラッド層

16…p-GaN低抵抗層

17…電流ブロック層

17a…開口部

18…p-GaNコンタクト層

21…n側電極

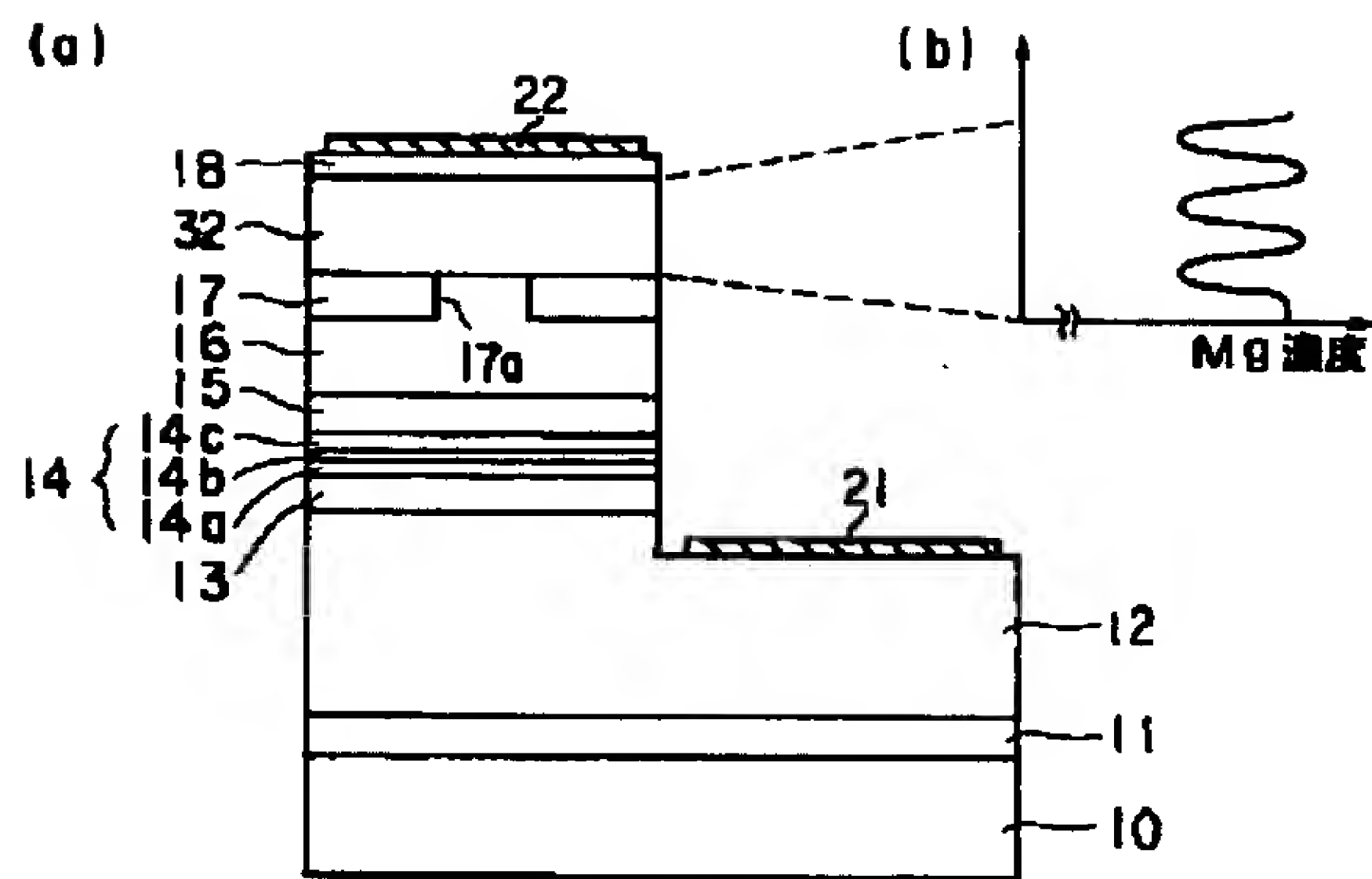
22…p側電極

32、34…変調層

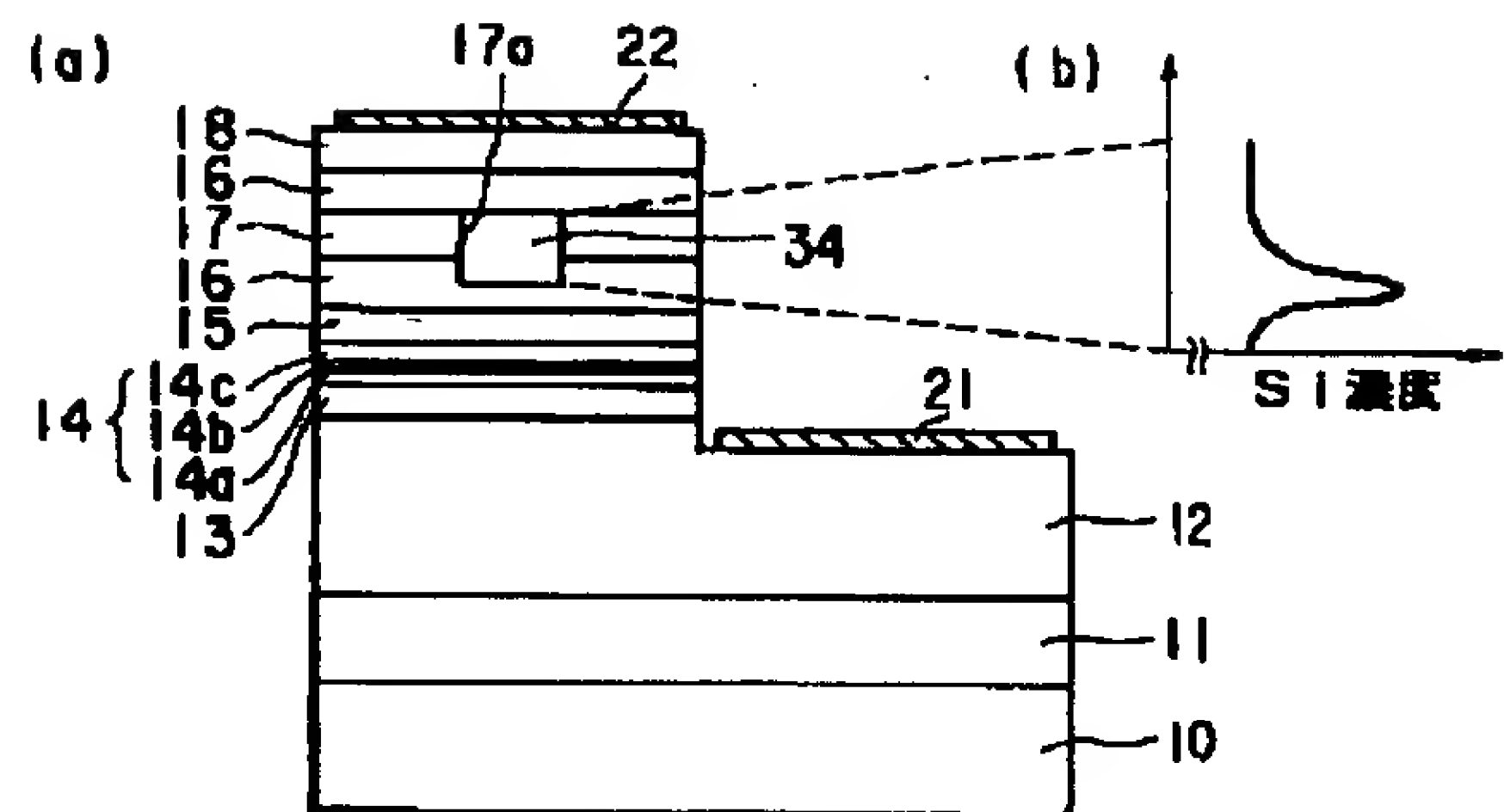
42、44、46、52、64、74…高抵抗層



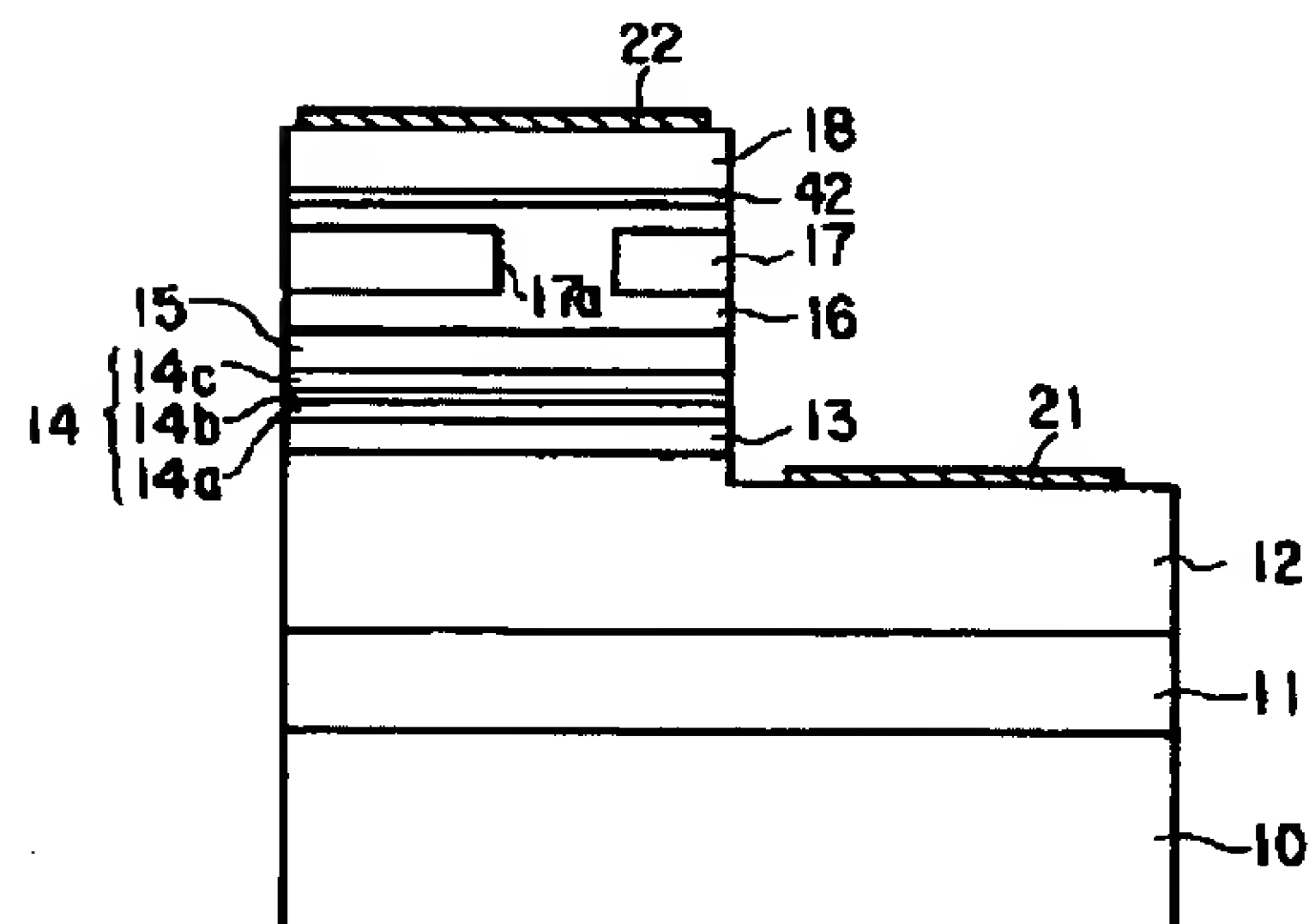
【図1】



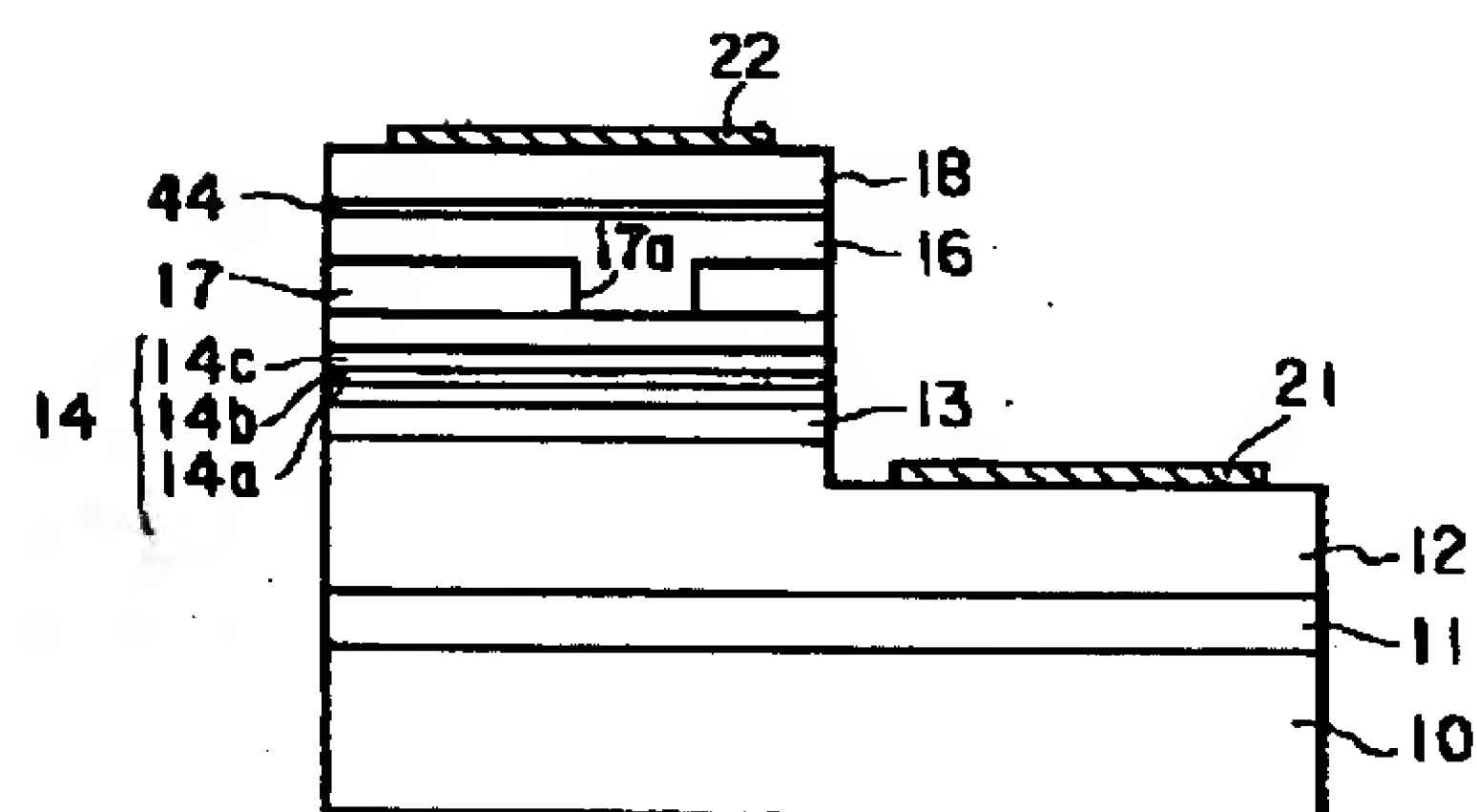
【図2】



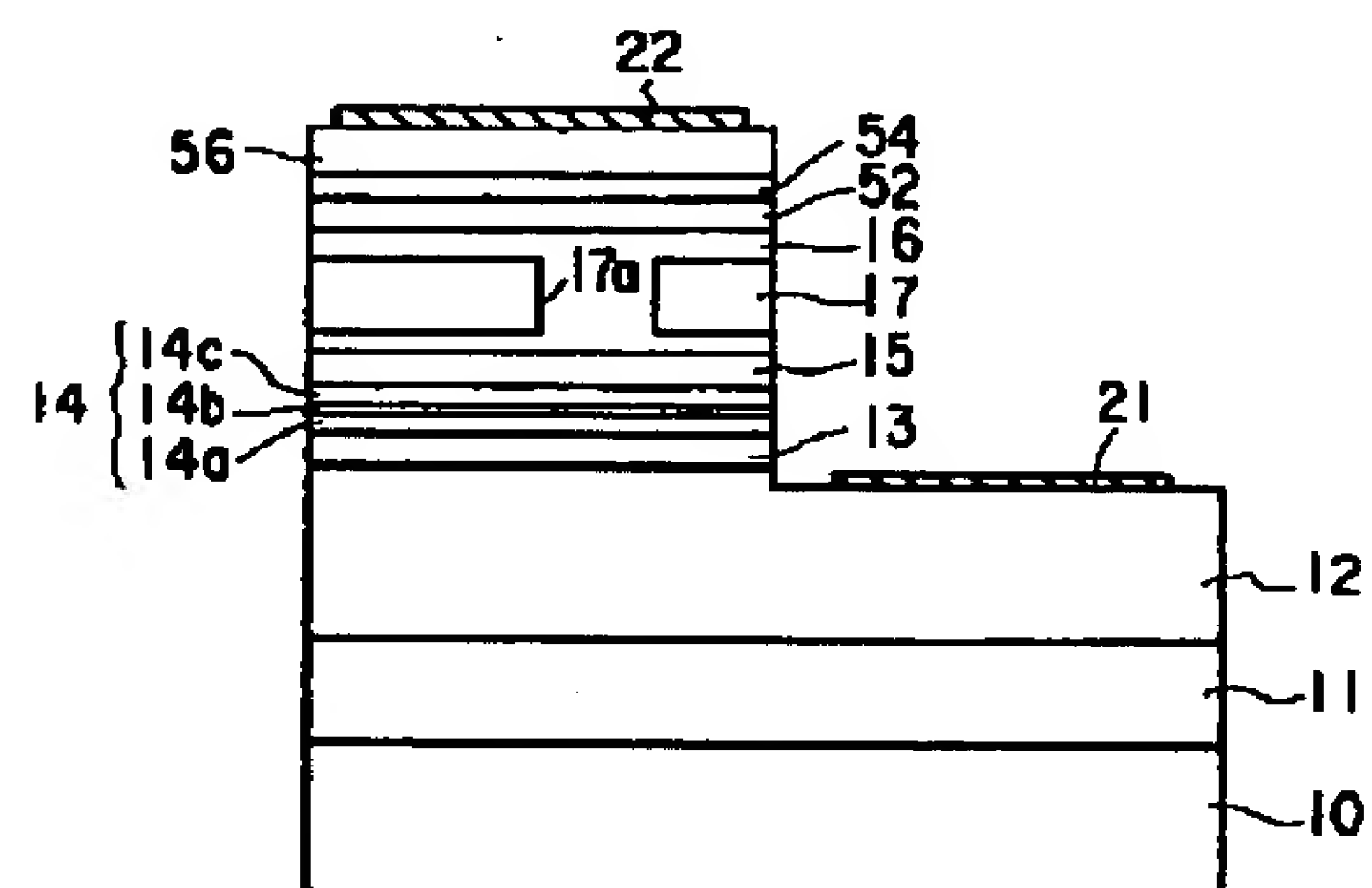
【図3】



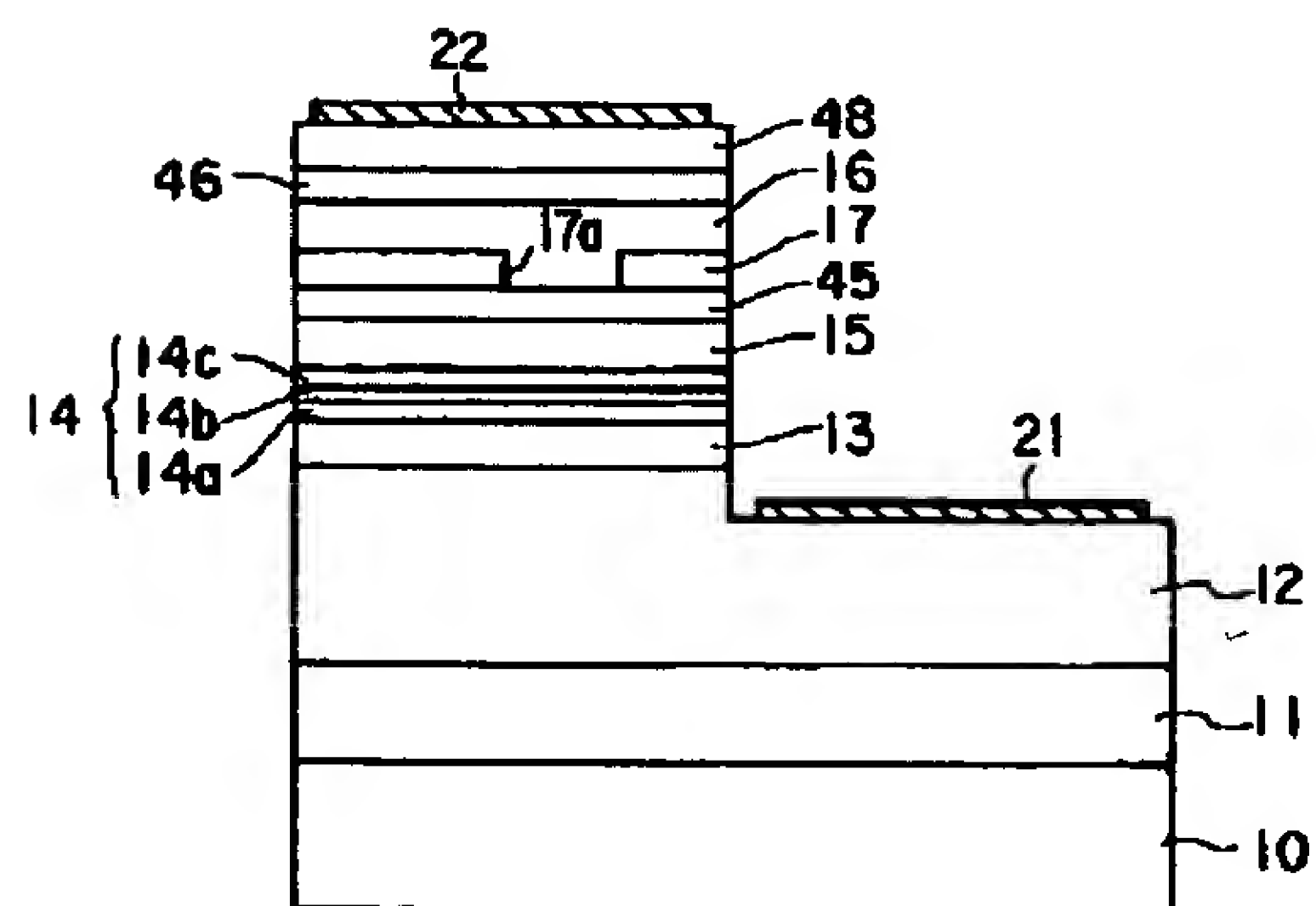
【図4】



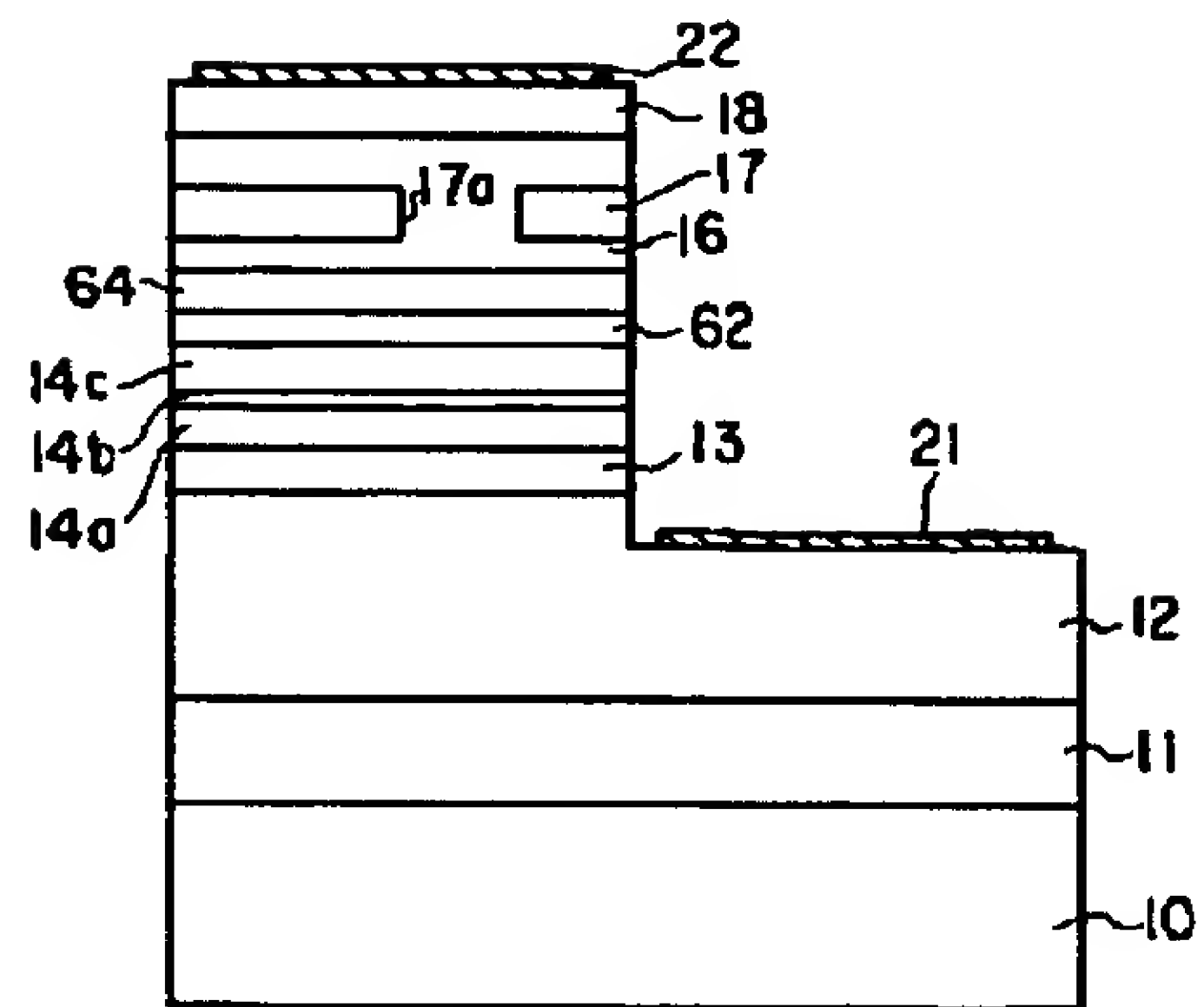
【図6】



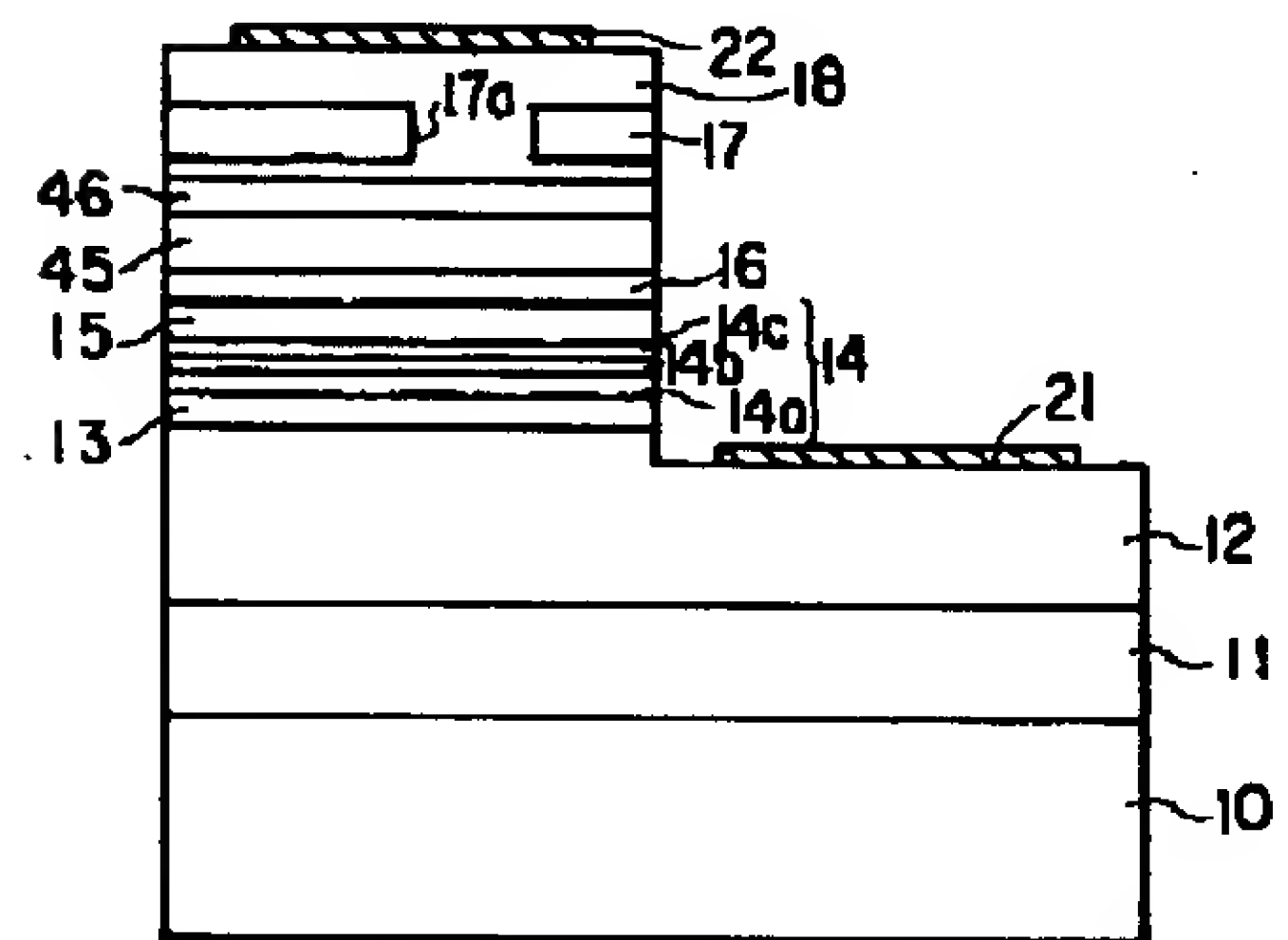
【図5】



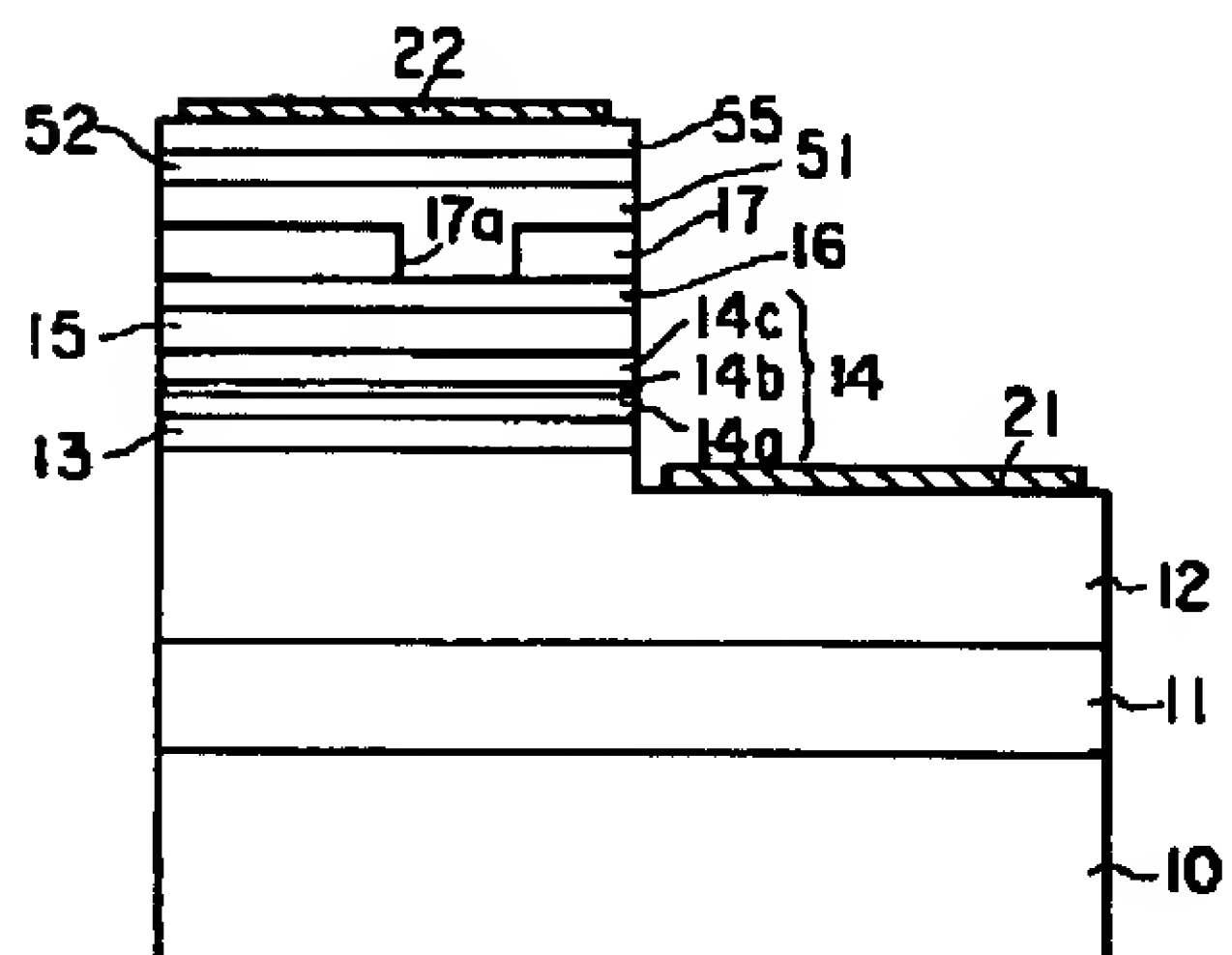
【図 7】



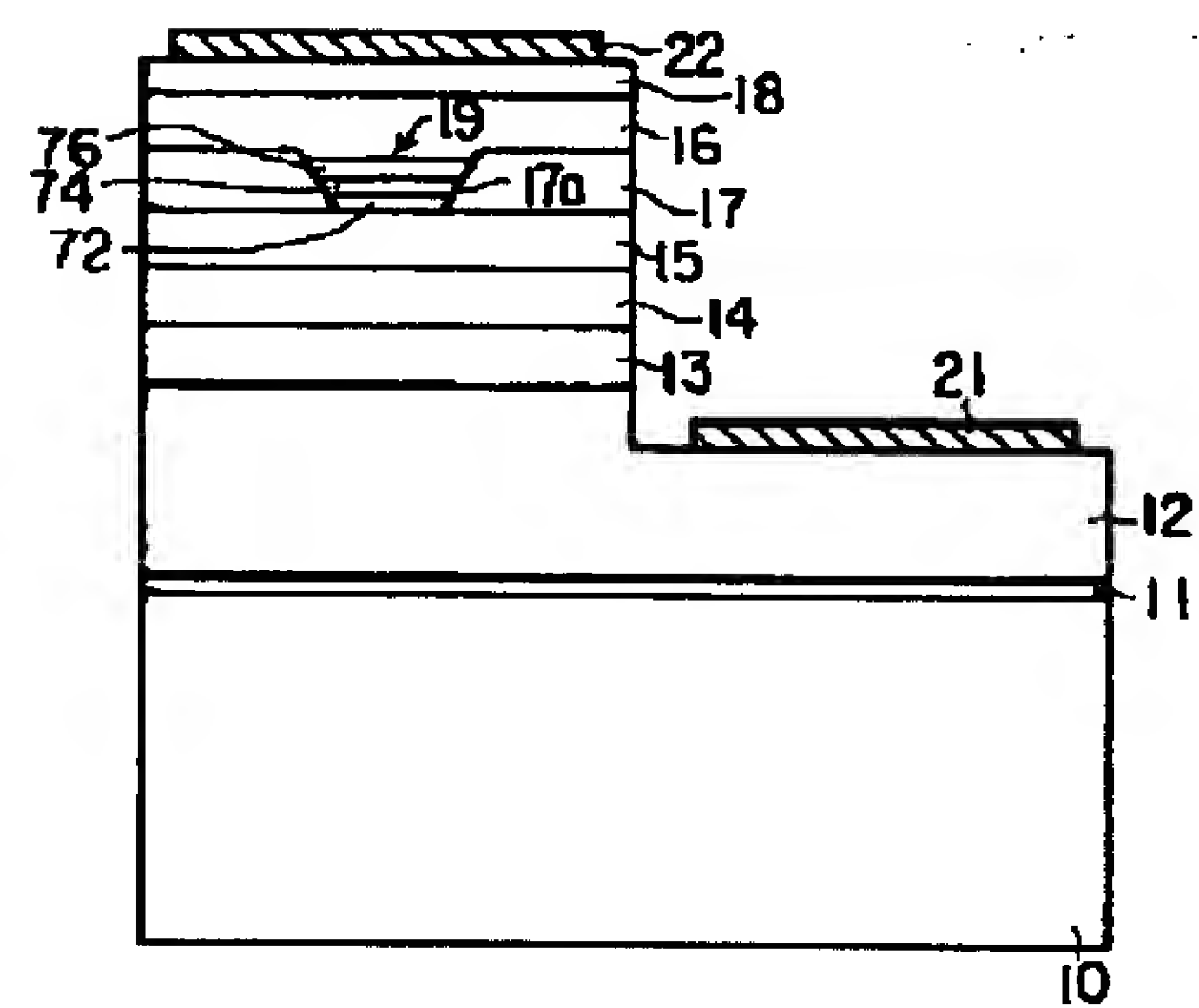
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72) 発明者 石川 正行  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株  
式会社東芝研究開発センター内